

## IDENTIFICACIÓN DE MACROFITAS DE USO POTENCIAL FITORREMIADOR DE CONTAMINACIÓN POR MERCURIO EN LA ZONA DE HUEPETUHE

### IDENTIFICATION OF MACROPHYTES FOR THE POTENTIAL PHYTOREMEDIATION OF MERCURY CONTAMINATION IN THE AREA OF HUEPETUHE

YUFRA C. S., ALARCÓN A. G., FRISANCHO V. R., MADUEÑO R.,  
CAJO P. M., ALIAGA V. I. & ÁLVAREZ T. V.

---

#### Resumen

El efecto severo de la contaminación minera por mercurio en Madre de Dios nos hizo plantear el análisis de zonas altamente contaminadas como Huepetue para evaluar la diversidad vegetal, el contenido de mercurio en hojas y raíces, y parámetros físicos-químicos en agua superficial, y sedimento para proponer acciones que conduzcan a la restauración de las áreas mineras mediante la fitorremediación.

En el inventario florístico se halló un total de catorce familias, 29 especies y 525 individuos, siendo la familia Poacea la más representativa en individuos por familia (46,7%). En el análisis del sustrato se pudo encontrar la turbidez y nitritos que estuvieron ligeramente elevados. El pH en todos los puntos de muestro presentó valores ligeramente ácidos ( $\text{pH} < 6$ ); los niveles de mercurio en el agua superficial y en sedimento en todos los puntos de muestro estuvieron por encima de los LMP.

La determinación del Índice de Factor de Transferencia (FTd) mediante el análisis de niveles de mercurio en el sustrato y en las plantas encontró que el más alto índice de FTd por encima de uno (1) lo presentó la especie *Blechnum brasiliensis*, seguida de la especie *Tococa guiamensis*; esto es característico de plantas acumuladoras. El FTd por encima de uno (1) para raíz lo presentó la especie *Miconia multiflora*, seguida de la especie *Tococa guiamensis*, esto es característico de especies rizoextractoras. Por ende se concluye que estas tres especies mencionadas resultan ser las más eficientes en la acumulación de mercurio y pueden ser usadas con fines de remediación y reforestación.

**Palabras claves:** Contaminación con mercurio, Bioremediación, Fitorremediación, Factor de transferencia.

#### Abstract

Huepetue, in Madre de Dios, is considered an important area due its mining activities, which cause severe negative environmental impacts, such as continuous deforestation and the contamination of water, sediments and soils with mercury and its subsequent effects on organisms like fish and humans. We proposed, therefore, to study the characteristics of highly contaminated areas like Huepetue to evaluate vegetative diversity (macrofitas), the concentration of mercury in leaves and roots, and the physical and chemical parameters of surface water and sediments, in order to contribute to the recovery of mining areas through phytomeditation.

Our floristic inventory captured a total of 14 families, 29 species and 525 individuals. The Poaceae family was best represented (46,7%). In the selected study area, pH levels were slightly acidic ( $\text{pH} < 6$ ) and mercury levels in all surface water and sediment samples exceeded the legal limits.

A Transfer Factor (FTd) analysis through the measurement of mercury in sediments and in plants showed that *Blechnum brasiliensis* exhibited the highest transfer factor ( $\text{FTd} > 1.0$ ), followed by *Tococa guiamensis*, characterizing these plants as accumulators. In plant roots, FTd levels greater than 1.0 were found in *Miconia multiflora*, and *Tococa guiamensis*, characterizing these plants as root extractors. These four species are therefore the most useful for reforestation and phytoremediation.

**Keywords:** Mercury contamination, bioremediation, bioaccumulation, phytoremediation, transfer factor.

---

## Introducción

La minería artesanal en Madre de Dios es una de las principales actividades económicas; siendo la zona denominada Huepetuhe la que claramente lidera la producción (63% de todo el oro extraído por el departamento). Esto resulta preocupante si se considera que el método de producción en esta zona es el que genera los mayores impactos negativos sobre el ambiente; como desaparición progresiva de áreas boscosas y la contaminación del ambiente (agua, sedimentos y suelos) con mercurio, lo cual repercute en los organismos vivos como los peces, incluso al hombre.

En 1995 el Instituto para el Medio Ambiente (IMA) evaluó de niveles de mercurio (Hg) en agua y en peces en Madre de Dios, encontrando valores por encima de la norma peruana (0,0002 mg/l). El estudio de la concentración de Hg en cinco especies de peces, reportó los niveles más altos de este mercurio en peces de Madre de Dios (Deza, 1996). Mediciones de los niveles de mercurio en agua y plantas próximos a los puntos de amalgamación de la actividad minera, encontraron valores por encima de los recomendados por la OMS, próximos a la zona de amalgamación. Otro estudio de evaluación de Hg en peces en la cuenca del río Malinowsky reportó niveles de Hg total en sedimentos, cuyos valores excedían los estándares de la OMS (0,1 mg/kg), mientras que los peces mostraron niveles moderados de contaminación por mercurio (Barbieri, 2004).

En las últimas décadas del siglo XX han surgido tecnologías basadas en el empleo de organismos vivos para descontaminar áreas contaminadas y recuperar los ecosistemas afectados; cuando estas tecnologías se basan en el uso de plantas, globalmente reciben el nombre de fitorremediación; que consiste en el uso de plantas verdes para eliminar los contaminantes del entorno o para reducir su peligrosidad (Volke *et al.*, 2004). En ese sentido, es importante efectuar una evaluación de macrofitas con potencial fitorremediador de contaminación por mercurio en la zona de Huepetuhe con fines de bioremediación.

## Resultados de la Investigación

### Parámetros físico-químico en agua y sedimento

El pH en todos los puntos de muestro presentó valores por debajo de los lmp (pH<6). Los bajos niveles de pH indican un medio ligeramente ácido, probablemente, este se deba al ingreso de descargas residuales ácidas, o a la remoción del sedimento sin llevar a cabo los procedimientos adecuados para ello.

Los niveles de Mercurio en el agua superficial en todos los puntos de muestro se encontraron por encima

de los LMP (0.0001mg/kg); estos valores estuvieron dentro de los rangos encontrados por DIGESA 2006 para la zona de Huepetuhe (0.01250-0.0001). Ascorra César F. *et al.* (2008).

TABLA 1  
PARÁMETROS FÍSICO-QUÍMICOS EN  
AGUA SUPERFICIAL

CÓDIGO DE ZONA	ESTACIÓN DE MUESTREO	pH (*)	SÓLIDOS EN SUSPENSIÓN (*) MG/L	TURBIDEZ (**) FAU	Oxígeno DISUELTTO (***) Mg/l	NO2 (****) MG/L	NO3 (****) MG/L
Z-01	Puchico	5,8	15	25	> 1.100	0,005	0,4
Z-02	Quebrada Seca	5,4	2	1	> 1.100	0,006	2,1
Z-03	Quebrada Nueva I	5,8	3	0	> 1.100	0,375	19
Z-04	Quebrada Nueva II	5,6	13	16	> 1.100	0,072	12
Z-05	Quebrada Baja	5,1	6	5	> 1.100	0,009	3
LMP / ECA	6 a 9	50	5	3	0,06	13	

\* Límites Máximos Permisibles (LMP) de Vertimientos en la Industria Minero-Metalúrgica (R.M. 011-96-EM/VMM).

\*\* Estándar Internacional Agua Potable OMS (2004).

\*\*\* Estándares de Calidad de Agua D.S. 261-69-AP, modificado. (D.S. 007-83-SA y D.S. 003-2003-SA). IV. Zonas recreativas de contacto primario (baños y similares).

\*\*\*\* Estándar Internacional Preservación de Fauna Acuática CCME (1999).

TABLA 2  
NIVEL DE MERCURIO EN AGUA  
SUPERFICIAL Y SEDIMENTO

CÓDIGO DE ZONA	AGUA (*) MG/L	SEDIMENTO (**) Mg/kg
Z-01	< 0,002	1.620
Z-02	< 0,002	1.540
Z-03	< 0,002	4.510
Z-04	< 0,002	4.850
Z-05	< 0,002	4.330
L.M.P/E.C.A.	0,0001	0,1

\* Estándar Nacional de Calidad Ambiental para Agua. Perú. b) Categoría 4: Conservación del Medio Acuático: ríos de la selva.

\*\* Guía de Calidad Ambiental Canadiense. 2003. Nivel debajo del cual no se avizora efectos biológicos adversos.

Los niveles de mercurio (1.540-4.850 mg/kg) en el sedimento de todos los puntos de muestro excedió los LMP (0,170 mg/kg); estos niveles excedieron los valores

reportados para sedimentos en la región (0,165-0,303 mg/kg) de acuerdo con el INRENA-IANP (2003) y PRODUCE (2008).

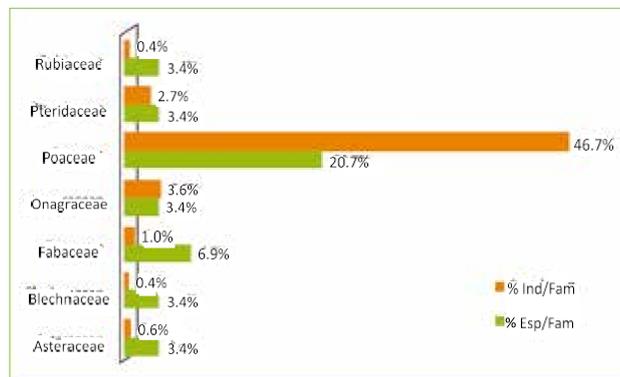


Figura 1. Predominio de especies e Individuos por familia en la zona de estudio

### Evaluación de la diversidad en la zona de estudio

La descripción florística de la zona de estudio (Bosque Húmedo subtropical) muestra una variedad de especies pioneras (Lycopodiaceae, Cyperáceas y Poáceas), características del inicio sucesional en cualquier ecosistema. Las familias con mayor número de individuos fueron las Onagraceas, Melastomateaceas y Poáceas.

En la zona contaminada se encontraron coincidentemente con Reyes, Rosa la especie tolerante a

las altas concentraciones de mercurio (*Cyperus lazulae*); así como los géneros *Andropogon* y *Paspalum*.

Los niveles de mercurio en el agua superficial en todos los puntos de muestro se encontraron por encima de los LMP (0,0001 mg/kg); estos valores estuvieron dentro de los rangos encontrados por digesa 2006 para la zona de Huepetuhe (0,01250-0,0001) (Ascorra *et al.*, 2008).

La riqueza específica total fue alta; el transecto de la zona de muestro 02 presentó la mayor riqueza específica (S=17 especies), así como un gran número de individuos (Abundancia=165 individuos). Esta diversidad fue mayor a la reportada (11 especies) por Reyes Gil (2006) en zonas intervenidas y recientemente abandonadas del bosque tropical de sabana de la Reserva Forestal Imataca, en el sureste de Venezuela.

El índice de dominancia expresado en términos de índice de Simpson ( $\lambda$ ) presenta una alta dominancia de especies en los transectos muestreados. La mayor dominancia se presentó en los transectos: 03 ( $\lambda = 0,3003$ ); 05 ( $\lambda = 0,2326$ ). El índice de equidad o uniformidad se determina mediante la relación que existe entre los casos ideales de diversidad de Shannon-Wiener (H. Max), y los valores Diversidad de Shannon-Wiener (H') observados para cada Transecto: Esta relación indica una alta equidad o "uniformidad" en todos los transectos muestreados, lo cual también aumenta la diversidad en la comunidad. Las zonas con mayor uniformidad fueron los transectos 02 (EH=2.833); 02 (EH=2.833).

TABLA 3  
ÍNDICES DE DIVERSIDAD EN LA ZONA DE ESTUDIO

CÓDIGO DE ZONA	Nº ESPECIE (S)	Nº INDIVIDUOS (N)	D. MG	H'	H. MAX	H/ H <sub>MAX</sub>	1- $\lambda$	$\lambda$
Z-01	15	114	2.956	2.256	2.708	0.833	0,8419	0,1581
Z-02	17	165	3.134	1.224	2.833	2.833	0,7800	0,2200
Z-03	8	91	1.552	1.532	2.079	2.079	0,6997	0,3003
Z-04	7	69	1.417	1.7273	1.9459	1.946	0,8045	0,1955
Z-05	9	86	1.796	1.6945	2.1972	0.7712	0,7674	0,2326
total	29	525	4.4704	1.7460	3.3673	0.5185	0,8328	0,1672

S: Riqueza específica en número de especies; DMg: Índice de Diversidad de Margalef. 1- $\lambda$ : Índice de diversidad de Simpson; H': Índice de Shannon-Wiener; H. max: Diversidad máxima de especies; EH.: Equidad de la comunidad = H'/H. Máx:).

### Evaluación de la acumulación de mercurio en macrofitas

La especie *Vismia pozuzoensis* presentó el valor más alto de mercurio en raíces (9410 mg/kg), seguida de la *Miconia minutiflora* (8710 mg/kg).

Resultados similares fueron hallados por Pastor Rojas Rosalinda *et al.* (2006) quien reportó los géneros con *Paspulum* (*Paspulum reprens*) y *Panicum* (*Panicum pilosum*) como géneros tolerantes a medios con altos niveles de mercurio.

**TABLA 4**  
**ACUMULACIÓN DE MERCURIO EN RAÍCES POR PUNTO DE MUESTREO**

FAMILIA	ESPECIE	MERCURIO (Mg/kg)				
		P.CH	QS	QN-I	QN-II	QB
<i>Blechnaceae</i>	<i>Blechnum brasiliensis</i>		2.800			6.530
<i>Clusiaceae</i>	<i>Vismia pozuzoensis</i>			4.031	0.355	9.410
<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus lazulae</i>	6.120	3.240	6.720	0.740	
<i>Escrophulariaceae</i>	<i>Lindernia crustacea</i>	2.370	2.310			
<i>Gentianaceae</i>	<i>Irlbachia alata</i>				0.151	0.160
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia minutiflora</i>	8.710	8.680			
<i>Melastomataceae</i>	<i>Tibouchina sp</i>	2.040			0.255	0.548
<i>Melastomataceae</i>	<i>Clidemia capitellata</i>		0.490	0.422		
<i>Melastomataceae</i>	<i>Tococa guianensis</i>				8.023	8.180
<i>Poaceae</i>	<i>Panicum sp</i>	7.200	7.025			
<i>Poaceae</i>	<i>Paspalum conjugatum</i>	7.270	4.675	1.550	0.391	7.750
<i>Poaceae</i>	<i>Gynerium sagittatum</i>	7.900	7.430			
<i>Rubiaceae</i>	<i>Sabicea villosa</i>		0.680	0.760		

**TABLA 5**  
**ACUMULACIÓN DE MERCURIO EN HOJAS POR PUNTO DE MUESTREO**

FAMILIA	ESPECIE	MERCURIO (Mg/kg)				
		P.CH	QS	QN-I	QN-II	QB
<i>Blechnaceae</i>	<i>Blechnum brasiliensis</i>		8.200			9.220
<i>Clusiaceae</i>	<i>Vismia pozuzoensis</i>			3.040	0,455	6.210
<i>Cyperaceae</i>	<i>Cyperus lazulae</i>	0,990	0,800	1.548	0,420	
<i>Escrophulariaceae</i>	<i>Lindernia crustacea</i>	1.631	1.600			
<i>Gentianaceae</i>	<i>Irlbachia alata</i>			0,225		0,220
<i>Melastomataceae</i>	<i>Miconia minutiflora</i>	0,840	0,800			
<i>Melastomataceae</i>	<i>Tibouchina sp</i>	0,400			0,279	0,590
<i>Melastomataceae</i>	<i>Clidemia capitellata</i>		0,620	0,600		
<i>Melastomataceae</i>	<i>Tococa guianensis</i>				8.000	8.541
<i>Poaceae</i>	<i>Panicum sp</i>	3.494	3.110			
<i>Poaceae</i>	<i>Paspalum conjugatum</i>	0,430	0,270	0,350	0,330	0,546
<i>Poaceae</i>	<i>Gynerium sagittatum</i>	1,500	1.220			
<i>Rubiaceae</i>	<i>Sabicea villosa</i>		0,840	0,800		

El análisis de varianza para el contenido de mercurio en raíces evidenció la existencia de diferencias significativas entre los niveles de absorción por parte de las raíces de las macrofitas ubicadas en las zonas contaminadas con mercurio de Huepetuhe ( $p < 0,05$ ). La Prueba de especificidad HDSa,b Tukey para el contenido de Mercurio en raíces evidenció que los mayores promedios de contenido de mercurio los presentó la *Miconia minutiflora* (8.695 mg/ kg), seguido de la *Tococa guianensis* (8.102 mg/kg); ambas de la familia Melastomataceae, presentando estas diferencias significativas respecto a las demás especies.

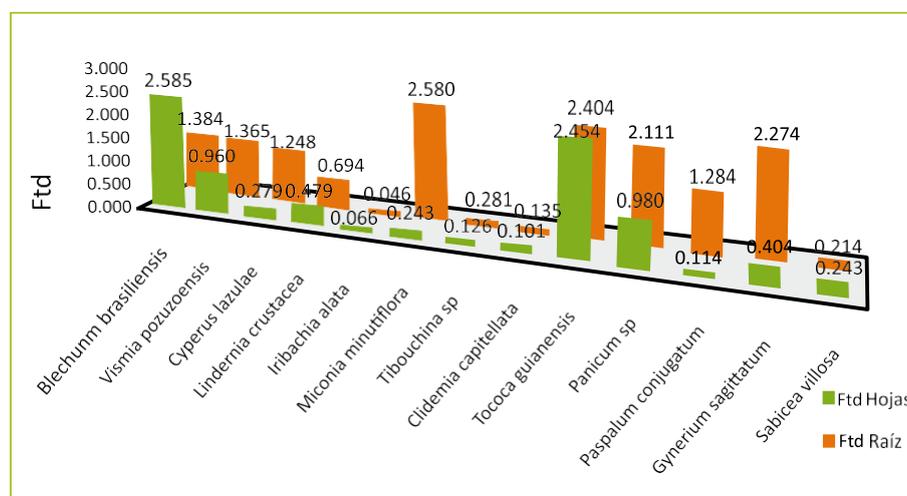
La especie *Blechnum brasiliensis* presentó el valor más alto de mercurio en hojas (y tallo) (9.220 mg/kg), seguida de *Tococa guianensis* (8.541/kg).

El Análisis de Varianza del Contenido de Mercurio en Hojas demostró la existencia de diferencias significativas entre los niveles de absorción por parte de las hojas de las macrofitas ubicadas en las zonas contaminadas con mercurio de Huepetuhe ( $p < 0,05$ ). La Prueba de especificidad HDSa,b Tukey para el contenido Mercurio evidenció mayores promedios de contenido de mercurio los presentó *Blechnum brasiliensis* (8.710 mg/Kg) de la familia *Blechnaceae*, seguido *Tococa guianensis* (8.271 mg/kg) de la familia *Melastomataceae*, siendo estas diferencias significativas respecto a las demás especies.

**TABLA 6**  
**FACTOR DE TRANSFERENCIA (FT)\***

Especie	Concentración Promedio de Hg (mg/kg)		Promedio de Hg en sedimento (mg/kg)	FT	
	Hojas	Raíz		Hojas	Raíz
<i>Blechunm brasiliensis</i>	8.710	4.665	3.37	2.585	1.384
<i>Vismia pozuzoensis</i>	3.235	4.599	3.37	0,960	1.365
<i>Cyperus lazulae</i>	0,940	4.205	3.37	0,279	1.248
<i>Lindernia crustacea</i>	1.616	2.340	3.37	0,479	0,694
<i>Iribachia alata</i>	0,223	0,156	3.37	0,066	0,046
<i>Miconia minutiflora</i>	0,820	8.695	3.37	0,243	2.580
<i>Tibouchina sp</i>	0,423	0,948	3.37	0,126	0,281
<i>Clidemia capitellata</i>	0,610	0.456	3.37	0,181	0,135
<i>Tococa guianensis</i>	8.271	8.102	3.37	2.454	2.404
<i>Panicum sp</i>	3.302	7.113	3.37	0,980	2.111
<i>Paspalum conjugatum</i>	0,385	4.327	3.37	0,114	1.284
<i>Gynerium sagittatum</i>	1.360	7.665	3.37	0,404	2.274
<i>Sabicea villosa</i>	0,820	0,720	3.37	0,243	0,214

\* Cálculo mediante la relación entre la concentración de elemento en planta y la concentración de elemento en suelo.



**Figura 2.** Predominio de especies e individuos por familia en la zona de estudio.

### Potencial fitorremediador para la contaminación por mercurio

El más alto índice de ft por encima de 1 para raíz lo presentó la especie *Miconia multiflora*, seguida de la especie *Tococa guiamensis*, *Gynerium sagittatum*, *Panicum sp*, *Blechunm brasiliensis*, *Vismia pozuzoensis*, *Paspalum conjugatum* y *Cyperus lazulae*; indicando que se produce una translocación a la parte radicular de la planta y, por tanto, la transferencia de la fracción más fácilmente disponible del mercurio contenido en el suelo; lo cual como indica Baker (1981), es característico de plantas acumuladoras.

El más alto índice de FT por encima de 1 para hojas lo presentó la especie *Blechunm brasiliensis*, seguida de la especie *Tococa guiamensis*; indicando que se produce una translocación a la parte aérea (foliar) de la planta y por tanto la transferencia de la fracción más fácilmente disponible del mercurio contenido en el suelo; que como indica Baker (1981) es característico de plantas acumuladoras.

Así mismo, los más altos índices de ft por encima de 1 para hojas y raíces lo presentó la especie *Blechunm brasiliensis*, seguida de la especie *Tococa guiamensis*.

## Definición del alcance del trabajo, relevancia del resultado producido y su aporte a la realidad nacional, regional o local

La presente investigación está enmarcada en el eje temático “Desarrollo sostenible de la Amazonía Peruana” del MINAM.

En las investigaciones del impacto provocado por el uso indiscriminado del mercurio por la actividad minera se ha determinado que este metal pesado causa problemas en el ambiente, plantas, animales y hombre. En este sentido, es necesario explorar alternativas viables y económicas de remediación; para áreas como Huepetue, consideradas grandes pasivos ambientales producto de la actividad minera en Madre de Dios que representan una gran pérdida desde el punto de vista ecológico.

La identificación de macrofitas con potencia de concentrar mercurio (bioremediadoras) es altamente viable desde el punto de vista ambiental; hay que también considerar la rápida capacidad de las plantas herbáceas y arbustivas de aportar materia orgánica, lo cual permite acelerar la recuperación de la matriz del suelo y estabilizar al contaminante. Hay que adicionar que el uso de plantas y la propuesta permiten el uso de especies de la zona para recuperar suelos contaminados, es una tecnología in situ no destructiva y de bajo costo, lo cual la hace una técnica altamente viable desde el punto de vista económico.

## Conclusiones

Los niveles de mercurio en el agua superficial en todos los puntos de muestro se encontraron por encima de los LMP; y en sedimento de todos los puntos de muestro excedieron ampliamente los lmp para el nivel de Hg.

- El inventario florístico presentó un total de 14 familias, 29 especies y 525 individuos, siendo La familia Poacea la más representativa.

- La especie *Blechnum brasiliensis* y *Tococa guianensis* concentraron significativamente mayor nivel de mercurio en hojas.
- El más alto índice de ft por encima de 1 para raíz lo presentó la especie *Miconia multiflora*, seguida de la especie *Tococa guianensis*. En hojas el más alto índice de ft lo presentó la especie *Blechnum brasiliensis*, seguida de la especie *Tococa guianensis*; esto es característico de plantas acumuladoras.
- Las mejores especies para la remediación de zonas contaminadas con mercurio son las especies que acumulan en hojas como *Blechnum brasiliensis* y seguida de la especie *Tococa guianensis* por ser altamente acumuladoras de mercurio y su potencial de uso por el método de cosecha.

## Referencias

- ASCORRA, C. Y DÁVILA, Á. (2008) *Diagnóstico ambiental integral de Madre de Dios: un enfoque pensando en las personas*. Defensoría del Pueblo-Oficina Defensoría Madre de Dios. Madre de Dios.
- BARBIERI, G. (2004) *Evaluación del mercurio en peces agua y sedimento en la cuenca del río Malinowsky, Departamento de Madre de Dios, causada por la minería aurífera aluvial*. Lima, Perú. Universidad Agraria la Molina.
- INSTITUTO PARA EL MEDIO AMBIENTE (IMA) (1995) *Efectos de la contaminación por Mercurio en la explotación aurífera aluvial*. Instituto de Manejo de Medio Ambiente. Cuzco.
- VOLKE, T. et al. (2004) *Evaluación de tecnologías de remediación para suelos contaminados con metales*. Dirección General del Centro Nacional de Investigación y Capacitación Ambiental y Dirección de Investigación en Residuos y Proyectos Regionales. México.